الحاسبات الدقيقة
خلال
الثمانينات

سحر عبد العزيز الطالب
جامعة الموصل

مترجمة بتصرف عن مجلة IEEE SPECTRUM
العدد الثامن ـ آب 1979

مقدمة

تبحث المقالة الانتاج الجديد للدوائر المتكاملة في الثمانينات والتغيرات الناجمة عن ذلك في تصميم المعالجات الدقيقة وبالتالي التطورات المتوقعة في تصميم حاسبات المستقبل الدقيقة من حيث الأجهزة (Hardware) والأعمال البرمجية (Software) وكذلك مناقشة كيفية تقليل كلفة الأعمال البرمجية التي تعتبر مشكلة في انتاج أي نوع من الحاسبات بصورة عامة. أما حاجة السوق من أشباه الموصلات والدوائر المتكاملة وموقف مصانع أشباه الموصلات تجاه الطلب الواسع لها

فسيكون بتخمين الزيادة في الانتاج كما سيجري شرحه في الجزء الاخير من المقالة.

1 ـ الجديد في انتاج الحاسبات الدقيقة

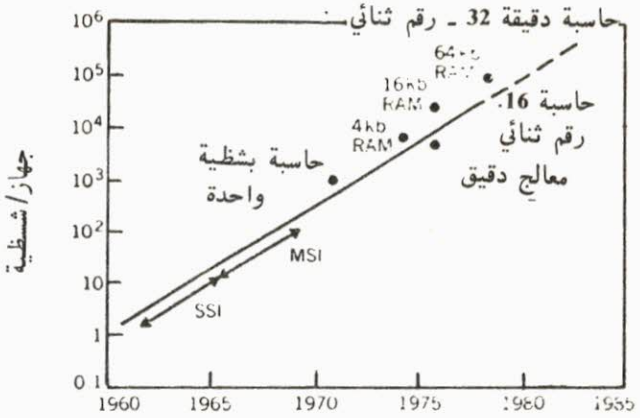
هناك تطوران متوقعان في العقد التالي من الزمن بانتاج جديد للدوائر المتكاملة وعلى نطاق واسع جداً (VLSI). التطور الأول هو محاولة وضع مليون جهاز في شظية السلكون الواحدة عام 1985، أما التطور الثاني فهو رص حوالي مليون رقم ثنائي (bit) بسعر رخيص بحدود 0.6 فلس لكل رقم ثنائي. مقارنة مع ما هو موجود حالياً «من كثافة لشظية السلكون أقل من 100000 جهاز وسعر أكثر من 0.6 فلس لكل شظية (chip). أما أجهزة المعالجة الدقيقة (Microproccessors) والاجزاء المتعلقة بها فستبنى على أساس هذه الدوائر المتكاملة بتقنية جديدة لتصميم الدوائر سيأتي ذكرها فيما بعد. وبهذا يمكن انتاج حاسبات دقيقة بشظية واحدة بها ما يعادل 256 كيلو رقم ثنائي كذاكرة يمكن محيها كهربائياً واستخدام هذه الحاسبات في البرمجة باللغة الانكليزية والاعمال البرمجية المسجَّلة (canned software).

وعلى الرغم من أن ربط الدوائر المتكاملة مع وحدة المعالجة الدقيقة سيكون بطريقة معقدة الاّ أن الجهاز الاخير سيكشف عن تطبيقات واسعة وأسعار وظيفية قليلة. وحتى حلول المعالجات الدقيقة سيكون مصنعو الدوائر المتكاملة في معضلة وهي الحاجة الى زيادة كثافة هذه الدوائر بأسعار وظيفية قليلة. ولكن بعمل كهذا يكونوا قد بدأوا ببناء دوائر متكاملة معقدة ومحدودة التطبيقات.

2 ـ الاتجاهات الجديدة في تصميم الدوائر المتكاملة:

في المؤتمر الدولي للطباعة الحجرية المجهرية الذي عقد عام 1977 قدم شكل

من قبل R.W. Rozeboon, H.W. Spence مشابه لشكل رقم (1) وفيه يظهر



شكل رقم (1) : الزيادة في كثافة الدوائر المتكاملة لغاية عام 1985

أن التعقيد في شبكات الدوائر المتكاملة كان متوقعاً لعام 1985 منذ ذلك الوقت.

ان ملاحظة الاتجاهات الجديدة في تصميم ومعالجة الدوائر المتكاملة (شكل 3,2) توحي بأن الزيادة في كثافة الدوائر المتكاملة ستستمر ومنها يمكن تخمين الشكل الذي ستنتهي اليه في المستقبل. كما أن تبدد القدرة الحالية والبالغة (1 الى 2 واط) سيزداد الى الضعف نتيجة لزيادة كثافة هذه الدوائر مما يستدعي التفكير بطريقة رزم (packaging) جديدة وبالتالي أسس تصميم جديدة.

بما ان الأساس الذي يُعتمد عليه في تصميم الدوائر المتكاملة هو محاولة جعل تبدد القدرة قليل وكذلك تقليل التباعد بين الخطوط على الشظية وهذا يكون بتثبيتها على فولتيات عمل أقل، لذا فان الدوائر المتكاملة ذات الكثافة العالية ستستغل على أساس جديد هو 3 أو 1.5 فولت. وهذه فولتيات منسجمة مع النضائد التي ربما ستستعمل بكثرة في أنظمة الدوائر المتكاملة في

المستقبل. ومستويات تبدد القدرة سيكون ضرورياً للوصول الى الكثافة العالية، بالاضافة الى ذلك سيحتاج مصممو الدوائر الى سرعة بوابات داخلية أقل من (1 Ns) ولكن كثافة مقدارها مليون جزء لا يمكن الحصول عليها فقط بتقليل فولتيات العمل. فقد حل البلازما (Plasma) محل الكيمياويات الرطبة للعزل والاكسدة في الوقت الحاضر وسيستبدل الحاجز (Barrier) البالغ عرضه (1/m) بربط داخلي لطبقتين معدنيتين على الشظية في محاولة معالجة الدوائر المتكاملة. وهذا يؤدي بدوره الى جعل ترتيب الخطوط على الشظية متناسقة ويقلل كلفة العمل.

أما عن التقنية المستعملة فيمكن أن تكون تقنية NMOS الواسطة للدوائر المتكاملة في المستقبل و CMOS الاضافة المحتملة. ان المشكلة الأساسية لتردّي CMOS فتكمن في سرع العمل الواطئة وحجم الخلايا الكبير (مقارنة مع NMOS). لتلافي سرعة العمل الواطئة يمكن استعمال صمام السلكون بدلاً من الصمام المعدني للحصول على سرعة عمل من 20 الى 40 ميكاهرتزا اعتماداً على فولتية مجهز القدرة. أما حجم خلية CMOS فيمكن أن يقلّص باستعمال عنصر Mos بمفرده في مرحلة الاخراج (Output stage) بدلاً من زوج الترانسستور المتمم (Complementary transistor pairs) دوائر متكاملة بالمواصفات المذكورة ستكون متوفرة تجارياً في بداية الثمانينات.

3 ـ معمارية الحاسبة الدقيقة في المستقبل

تتكون الشبكة الحالية للدوائر المتكاملة من 50000 الى 80000 جهاز لكل شظية يمكن أن يضاف اليها في المستقبل ذاكرة مع شظايا (للأجهزة الخارجية) ذات 16 رقم ثنائي. ويمكن ان تحوي الشظايا للأجهزة الخارجية عام 1980 على اجزاء للدخول المباشر للذاكرة (direct memory access)، وسيط ناقل (bus arbitrator) تقسيم الذاكرة (Memory Segmentation) والمعالج

المحيطي(Peripheral processors). أما أجزاء المعالج للأجهزة الخارجية فيمكن ان تبرمج من قبل المستفيد لتطبيقات القرص المتخبط (floppy-disk) أو ضوابط (CRT Controllers CRT)، المعالجات المكرّسة (dedicated processors)، المشاركة في الذاكرة (memory sharing)، ووثائق الاتصالات الخاصة (communication protocols).

وبهذا فان الاحتمال الكبير لتوزيع أجزاء حاسبات المستقبل الدقيقة سيكون كالآتي:

100000 جهاز لوحد المعالجة المركزية C.P.U

400000 جهاز لقوابس الادخال والاخراج (1/0 adapters).

512000 جهاز للذاكرة التي يمكن محيها كهربائياً EEPROM

أما مكونات الذاكرة فستكون اجهزة وأعمال برمجية (firmware) كفوءة على شكل مترجم لغة عليا ويحتمل ان تكون الانكليزية حيث ستضم وحدة المعالجة المركزية C.P.U معجم متكوّن من 800 الى 2000 كلمة يمكن تحويلها الى الانكليزية مباشرة باستخدام الدوائر المتكاملة لمركّب النطق الحديث (Recent speech-synthesizer). بالاضافة الى ذلك يحتمل ان تكون وحدة المعالجة بسعة 16 رقم ثنائي وزمن دورة (20 ns). أما قوابس الادخال والاخراج فستكون واسطة الاتصال الخارجي.

4 - العوامل المؤثرة في أسعار الحاسبات الدقيقة وطرق معالجتها

تعتمد أسعار الحاسبات بصورة عامة على كل من الأعمال البرمجية والاجهزة البرمجية، لذا فان محاولة تقليل كلفة أي منها تؤدي الى انخفاض سعر الحاسبة وهذا ما يسعى اليه مصنعو اشباه الموصلات لتزويد السوق بحاجته من الحاسبات.

كان الاتجاه في السنوات القليلة الماضية نحو بناء وحدات معالجة مركزية كفوءة ذات 16 رقم ثنائي بغض النظر عن حجم الحاسبة الكلي، بعدها فجأة ظهرت الحاسبة الدقيقة بوحدة معالجة مركزية أقل كفاءة ذات 8 أرقام ثنائية و 4 أرقام ثنائية ولكن بوحدات ادخال واخراج متعددة وذاكرة ضمن الشظية. ومع أن الحاسبة الاخيرة أقل كفاءة من السابقة الاّ ان مصنعو أشباه الموصلات اتجهوا نحوها وذلك لبساطة استعمال هذه الحاسبات وكلفتها القليلة. أما السبب في تركهم للحاسبات المذكورة فهو كلفة الاعمال البرمجية لها والتي لا يمكن تقليلها الا بتبسيط البرمجة. أما الاجهزة البرمجية فان كلفتها تنخفض بشدة (بشكل 4) بحيث انه في عام 1984 ستتوفر حاسبة من نوع IBM 1800 بهيكل اكبر من الحالي وبسعر بحدود 30 دينار مما يحفز مصنعي أشباه الموصلات لاستغلال هذه الناحية واعداد تصاميم اكثر تعقيداً واقل كلفة، وبهذا ستنشأ أسواق جديدة للحاسبات الدقيقة.

هذه ليست محاولة للاستعاضة عن الحاسبات الكبيرة بأخرى دقيقة ذات 16-32-64 رقم ثنائي وانما فكرة جيدة تأخذ بنظر الاعتبار انخفاض أسعار الاجهزة البرمجية ومن ثم أسعار الحاسبات. أو بمعنى آخر فان الاتجاه الآن هو تبسيط عمل وحدات المعالجة المركزية على حساب زيادة تعقيد شبكات الاجهزة المستعملة من أجل تقليل أسعار الحاسبات.

ان الانتاج التالي للحاسبات الدقيقة ـ الانتاج الثالث سيكون أنظمة ذات 8-16-32 رقم ثنائي وببناء صنع لسهولة البرمجة. النوع الأول لهذه الحاسبات هو Motorola M 6809 المتوفرة حالياً والنوع الثاني هو M 68000 التي ستتوفر في المستقبل القريب. أما النوع الاول M 6989 فهو حاسبة دقيقة ذات 8 أرقام ثنائية مع تنظيم داخلي بـ 16 رقم ثنائي. والثاني M 68000 حاسبة دقيقة ذات 16 رقم ثنائي مع تنظيم داخلي بـ 32 رقم ثنائي. الخاصية الأساسية لكليهما هي عدم اعتماد الرمز فيها على الموقع (position independent code)

وكذلك البرمجة الكارّة (reentrant programming). تسمح الخاصية الاولى بتنفيذ الاعمال البرمجية المكتوبة في أي موقع لرسم عنوان الحاسبة الدقيقة (Microcomputer's address map) أما الخاصية الكارّة فهي استخدام البرامج الفرعية (Subprograms) حيث تسمح باعتراض أو قطع لموقع البرنامج في رسم العنوان والرجوع الى العنوان المناسب من البرنامج الفرعي. باضافة كلا الخاصيتين مع بعضهما الى برمجة التضمين (Modular programming) يمكن تسجيل أو خزن الاعمال البرمجية. وباستخدام هذه الاعمال البرمجية المسجلّة ستصبح البرامج الفرعية متوفرة بحجم من 4 الى 8 كيلو رقم ثنائي في مصانع أشباه الموصلات وبأسعار رخيصة جداً.

أما استمرارية البرنامج فتتم باستخدام برامج قصيرة وبسيطة مكتوبة بلغة عليا، هذه التقنية سوف تقلل كلفة البرمجة وتساعد على بناء مكتبة رخيصة الثمن للأعمال البرمجية وبالتالي تقليص وقت البرمجة والخبرة اللازمة لاستعمالات الحاسبة الدقيقة بهذا ستصبح الحاسبة الدقيقة في متناول الملايين.

مما سبق يمكننا القول بأن البرنامج يمكن أن يتطوّر باختيار العمل البرمجي المناسب الذي ينسجم والانتقال من عملية ذات 8 أرقام ثنائية الى 16 رقم ثنائي وحتى الى نظام 32 رقم ثنائي وبالعكس بحيث تبقى مكتبة الاعمال البرمجية لمستخدمي الحاسبة في معزل عن هذا الانتقال.

هل ان التوافق سيتوفر في لوحة التحويل من 4 الى 32 رقم ثنائي؟ الجواب على الارجح لا. والسبب هو ان الحاسبات ذات 4 أرقام ثنائية ستكون ذات أجهزة برمجية شديدة الحساسية. فالبرنامج الواحد فيها سيغذي ملايين الاجزاء بحيث أن استثناء أي منها سيؤدي الى تغيير مقابل في كلفة الأعمال البرمجية. عند هذه النقطة ستباع الحاسبات الدقيقة بأسعار بحدود 300 فلس وبكميات كبيرة.

6 - طريقة تخمين الزيادة في انتاج الحاسبات

نظراً للتطور الحاصل في مجال الحاسبات الدقيقة لذا يجب ان يكون هناك تقدم مماثل في تقنية التصنيع للوصول الى الاهداف المرجوة.

الجدول I يقارن الابعاد والكميات المستخدمة لوضع العدد المذكور من الاجهزة في شظية واحدة للسنوات 1976 -1979 مع ما هو مطلوب لعام 1985. وكذلك الجدول II يبين المواصفات الكهربائية للدوائر المتكاملة لعام 1976 والتطورات المتوقعة في الثمانينات كما يوضح الجدول III حاجة السوق من أشباه الموصلات والدوائرالمتكاملةأو بمعنى آخر من الحاسبات الدقيقة لغاية 1983. فمع حلول عام 1983سيكون دخل سوق الحاسبة الدقيقة في الولايات المتحدة بحدود 700 مليوندينار. وهذا الرقم يمثل حوالي ثلث دخل السوق المحلي للدوائر المتكاملة. وبهذا ستشكل الحاسبات الدقيقة اكثر من 20% من السوق العالمي لاشباه الموصلات مقارنة بـ 9% فقطعام 1978.

أما عن موقف مصانع شبه المواصلات تجاه هذا الطلب المتزايد فسيكون بتخمين الزيادة في الانتاج مقارنة بما انتج في السنوات السابقة. ولتحديد الاجزاء (Good-Dies) الممكن انتاجها هناك ثلاث نواح رئيسية يمكن ان تؤخذ بنظر الاعتبار.

1 . انتاج الرقائق (Wafer yield, Wy,)

2 . التجميع (Assembly yield, Ay)

3 . الفحص او الاختبار النهائي (Final test yield, FTy).

فمثلاً في عام 1976 كان عدد الاجزاء لكل 3 انجات من الرقاقة (wafer) بحدود 200 لمعدل سطح الشظية (160 mils * 160) وكان المعالج الدقيق ينتج بهذه النسب:

Wy = 40% Ay = 80% Fty = 85%

لتقدير الانتاج النهائي من المعالجات الدقيقة لكل رقاقة يمكن استعمال المعادلة التالية :

Good Finished Product (GFP) = (GF/WF) (Wy) (Ay) (FTy)

وهذا معناه ان الانتاج الكلي لكل رقاقة لعام 1976 كان

(200) (0.4) (0.8) (0.85) = 54 unites

فاذا كانت البداية بـ 10 000 رقاقة منها يمكن تصنيع 540 000 من المعالجات الدقيقة. أما التصنيع للعام 1976 فيجري على رقائق 4 انجات ولنفس سطح الشظية البالغ (160 mils * 160). بما أن نسبة 4 انج الى 3 انج رقاقة هي حوالي 1.8 ، فان نسبة 200 شظية / رقاقة يصبح 360 ونسب الانتاج ستكون كالآتي :

Wy = 50% Ay = 90% FTy = 90%

وهذه تعطي نتيجة :

(360) (0.5) (0.9) (0.90) = 145 units

حيث يمكن تصنيع 1450 000 معالج دقيق بنفس العدد من الرقائق (10 000) وهذا الانتاج يعادل حوالي ثلاثة أضعاف انتاج عام 1976 .

أما اذا كانت أبعاد سطح الشظية (250 mils * 250) وهي انتاج آخر لنفس العام 1979 نجد أنه .

نسبة سطح الزهر (Die Surface ratio) $= \frac{250 * 250}{160 * 160} = 2.44$

نسبة سطح الرقاقة (Wafer Surface ratio)

$$\frac{4^2}{3^2} = 1.77 \text{ من 3 الى 4 انج}$$

الاجزاء المحتمل انتاجها / رقاقة (Possible good-dies / wafer)

$$145 = \frac{200 * 177}{244}$$

باستعمال 145 كرقم للانتاج فسيصبح الانتاج النهائي : -

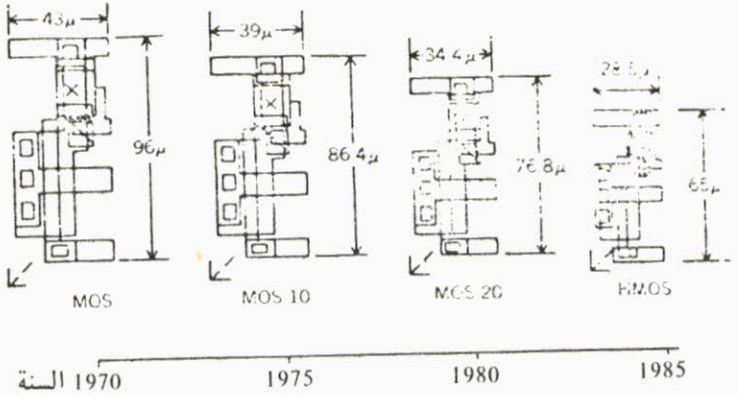
(GFP = (145) (0.5) (0.9) (0.90) = 58 units

من هذا نستنتج انه : اذا زاد عدد الاجهزة لكل شظية من 10000 الى 80000 فان نفس البداية بـ 1000 رقاقة ستنتج 000 580 قطعة زيادة على 540000 قطعة متوفرة كانتاج في الوقت الحاضر بدوائر أقل تعقيداً (160 * 160 mils)

التطور نفسه يمكن ان يستمر في الثمانينات . فمثلاً رقائق بمساحة 5 انج مربع وباستعمال طريقة جديدة لتوليد شريط سلكون احادي البلورة (monocrystal silicon-ribbon) .

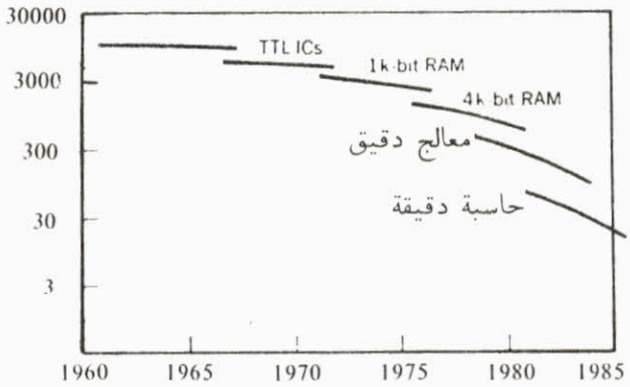
يمكن انتاج 100 زهر/رقاقة لأنظمة تتكون جهاز/شظية أو 350 زهر للمعالجات الدقيقة عام 1985 .

وبهذا سيبقى الانتاج في زيادة مستمرة لتزويد السوق بحاجته من الحاسبات الدقيقة يرافق ذلك زيادة خطية في الارباح .



شكل رقم (2) : التغير في حجم خلية (IC) لغاية عام 1985

كلفة وحدة المعالجة المركزية + الذاكرة
(دينار)



شكل رقم (3) : كلفة القدرة الحسابية (الاجهزة البرمجية)
لغاية 1985

جدول (I) : الأبعاد والكميات المستخدمة في إنتاج الدوائر المتكاملة وتخمين الزيادة لعام 1985 :

	1976	1979	1985
حجم الزهر (mil^2)	160 * 160	250 * 250	450 * 450
جهاز /زهر	10 000	80 000	1000 000
حجم الرقاقة (أنج).	3	4	5

جدول (II) : المواصفات الكهربائية للدوائر المتكاملة للأعوام 1985, 1980, 1976.

	1976 (NMOS)	1980 (H MOS II)	(SB MOS) (DI MOS)
سرعة البوابة الداخلية (10^{-9} ثانية)	6	2	1
تبدد القدرة (10^{-3} واط) لكل بوابة	3	0.5	0.25
تبدد القدرة /رزمة (واط)	1	1.5	5

جدول (III) : السوق العالمي للحاسبات الدقيقة

	1978	1979	1980	1981	1982	1983
النسبة المئوية لسوق أشباه الموصلات	8.8	12.8	14.4	15.5	17	20.2
النسبة المئوية لسوق الدوائر المتكاملة (I Cs)	14.9	20.6	11.5	23.1	24.4	28.5